

Caracterização de Sistemas Agroflorestais com o Uso de Ferramentas de Geoestatística



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Acre
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
58**

**Caracterização de Sistemas Agroflorestais
com o Uso de Ferramentas de Geoestatística**

*Eufran Ferreira do Amaral
Tadário Kamel de Oliveira
Nilson Gomes Bardales
Edson Alves de Araújo
Charles Henderson Alves de Oliveira
Déborah Verçoza da Silva
Nesia Maria da Costa Moreno*

***Embrapa Acre
Rio Branco, AC
2018***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Acre
Rodovia BR 364, km 14,
sentido Rio Branco/Porto Velho
Caixa Postal 321
CEP 69908-970, Rio Branco, AC
Fone: (68) 3212-3200
Fax: (68) 3212-3284
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
José Marques Carneiro Júnior

Secretária-Executiva
Claudia Carvalho Sena

Membros
Carlos Mauricio Soares de Andrade, Celso Luis Bergo, Evandro Orfanó Figueiredo, Rodrigo Souza Santos, Rogério Resende Martins Ferreira, Rivaldalve Coelho Gonçalves, Tadário Kamel de Oliveira, Tatiana de Campos, Virgínia de Souza Álvares

Supervisão editorial
Claudia Carvalho Sena, Suely Moreira de Melo

Revisão de texto
Claudia Carvalho Sena, Suely Moreira de Melo

Normalização bibliográfica
Renata do Carmo França Seabra

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Larissa Evelin, Francisco Carlos

Foto da capa
Eufran Ferreira do Amaral

1ª edição
1ª impressão (2018): 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Acre

Caracterização de sistemas agroflorestais com o uso de ferramentas de geoestatística / por Eufran Ferreira do Amaral... [et al]. – Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2018.

31 p.: il. color. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Acre, ISSN 0101-5516; 58).

1. Sistemas agroflorestais (SAFs). 2. Cobertura vegetal. 3. Geoestatística. 4. Projeto Reca – Nova Califórnia (RO). 5. Amaral, Eufran Ferreira do. I. Embrapa Acre. II. Série.

634.99098112

Sumário

Resumo5

Abstract7

Introdução.....9

Material e Métodos10

Resultados e Discussão15

Conclusões.....29

Referências29

Caracterização de Sistemas Agroflorestais com o Uso de Ferramentas de Geoestatística

Eufran Ferreira do Amaral¹

Tadário Kamel de Oliveira²

Nilson Gomes Bardales³

Edson Alves de Araújo⁴

Charles Henderson Alves de Oliveira⁵

Déborah Verçoza da Silva⁶

Nesia Maria da Costa Moreno⁷

Resumo – Os sistemas agroflorestais têm sido recomendados em ecossistemas amazônicos como uma alternativa à agricultura migratória, além de seu potencial para reduzir a degradação do solo e a pressão sobre as áreas de florestas. Na atualidade existem poucos trabalhos relacionados à aplicação de conhecimentos de geoestatística ao estudo de SAFs. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivos testar e definir um procedimento metodológico para caracterização da cobertura vegetal de sistemas agroflorestais com o uso de ferramentas de geoestatística. Para a consecução dos objetivos foram selecionados três SAFs com 28 anos de implantação localizados no projeto Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (Reca), distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho. Os SAFs são compostos por espécies perenes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.), pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) e castanheira (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.).

¹ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

² Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC

³ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, bolsista de Desenvolvimento Científico Regional do CNPq/Fapac, Embrapa Acre, Rio Branco, AC

⁴ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal do Acre, Campus Floresta, Cruzeiro do Sul, AC

⁵ Engenheiro-agrônomo, Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação de Serviços Ambientais, Rio Branco, AC

⁶ Engenheira-agrônoma, doutoranda do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Rio Branco, AC

⁷ Engenheira Florestal, M.Sc. em Economia e Política Florestal, Instituto de Mudanças Climáticas e Regulação de Serviços Ambientais, Rio Branco, AC

Culturas anuais foram implantadas nos anos iniciais do sistema. Foi instalada em cada SAF uma unidade amostral básica de 2.500 m² (50 m x 50 m), onde foram medidos e identificados todos os indivíduos com circunferência à altura do peito (CAP) superior a 30 cm. De cada indivíduo foram calculados o diâmetro à altura do peito, área de copa e dois índices: altura total/DAP e área de copa/altura total. Os resultados das análises de cada sistema agroflorestal foram avaliados por meio de dados de campo georreferenciados, interpolação de dados, geoestatística e estatística convencional. Os resultados obtidos permitiram inferir que os sistemas agroflorestais analisados são espacialmente dependentes. As variáveis analisadas se mostraram adequadas para a caracterização e comparação da cobertura florestal dos sistemas agroflorestais. O DAP, área de copa e a relação área copa/altura total se mostraram mais adequados para comparação dos sistemas agroflorestais pela sensibilidade de separação dos grupos. Essas informações podem ser utilizadas como contribuição a uma estratificação de sistemas agroflorestais, tais como: conhecer o padrão da distribuição espacial vertical e horizontal do conjunto de espécies na mesma área (arranjo), microzonas de áreas com baixa efetividade de ocupação e comparação de sistemas agroflorestais complexos. Os índices calculados também podem ser utilizados como parâmetros comparativos entre sistemas agroflorestais.

Termos para indexação: metodologia, modelagem, geoprocessamento, SAFs.

Characterization of Agroforestry Systems with the Use of Geostatistical Tools

Abstract – Agroforestry Systems have been recommended in Amazonian ecosystems as an alternative to migratory agriculture, in addition to their potential to reduce soil degradation and forest areas. Currently there are few studies related to the application of knowledge of geostatistics to the study of SAFs. The present work define a methodological procedure to characterize the vegetation cover of agroforestry systems with the use of geostatistics tools. Three SAFs with 28 years of implantation were selected, located in the Reca (Consortium Economic and Consertified Reforestation) project, in the district of Nova Califórnia, municipality of Porto Velho. SAFs are composed of perennial species of cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.), pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) and Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bonpl.). Annual crops were implanted in the early years of the system. A basic sample unit of 2,500 m² (50 m x 50 m) was installed in each SAF, where all individuals with Chest Height Circumference (CAP) greater than 30 cm were measured and identified. From each individual, the diameter at breast height, crown area and two indexes were calculated: Total Height/DAP and Total Cup/Height Area. The results of the analyzes of each agroforestry system were evaluated through georeferenced field data, data interpolation, geostatistics and conventional statistics. The analyzed variables were adequate for the characterization and comparison of the forest cover of the agroforestry systems, with the DAP, crown area and crown area/total height relationship being more adequate for comparison of the agroforestry systems by the separation sensitivity of the groups. This information can be used as a contribution to a stratification of agroforestry systems, such as: knowing the pattern of the vertical and horizontal spatial distribution of the set of species in the same area (arrangement), microzones of areas with low occupancy and comparison of agroforestry systems complex. The calculated indices can also be used as comparative parameters between agroforestry systems.

Index terms: methodology, modeling, geoprocessing, SAFs.

Introdução

No bioma Amazônia, o grande desafio tem sido desenvolver sistemas agrícolas, pecuários e florestais capazes de conciliar, de forma harmônica e sinérgica, princípios básicos de conservação ambiental com sustentabilidade econômica, social e cultural, em substituição à agricultura de derruba e queima, ainda comumente praticada (Amaral, 2007).

A implantação de sistemas agroflorestais surgiu como uma alternativa de uso da terra para pequenos agricultores da América Tropical, devido ao seu potencial de reduzir a degradação do solo e diminuir a pressão sobre as áreas de florestas (Smith et al., 1998; McGrath et al., 2000).

Os sistemas agroflorestais são indicados para recuperar áreas alteradas, por apresentarem estrutura e dinâmica muito próxima, em certos aspectos, à da Floresta Primária, cumprindo um importante papel social fixando o homem, ofertando produtos e renda em todos os períodos do ano e contribuindo de maneira expressiva na segurança alimentar do produtor (Young, 1989; Dubois et al., 1996; Gama, 2003; Altieri, 2004; Freitas, 2008; Silva, 2011).

Os sistemas agroflorestais apresentam também potencial para reduzir a degradação do solo e diminuir a pressão sobre as áreas de florestas (Smith et al., 1998; Coelho et al., 2008), favorecendo o equilíbrio entre o solo, a água, o ar, o microclima, a paisagem, a flora e a fauna (McGrath et al., 2000), aumentando a resiliência e a capacidade adaptativa dos agroecossistemas (Gliessman, 2005). A sustentabilidade dos sistemas agroflorestais é função das interações do fluxo de energia, da ciclagem de nutrientes e da biodiversidade (Rodrigues, 2004).

Para Carvalho (1993), a principal questão relacionada à sustentabilidade dos sistemas agroflorestais consiste na definição do que será, de fato, medido e com que ferramentas. Para Morgado e Rao (1986), os sistemas de plantio consorciados não podem ser avaliados adequadamente somente pelo critério de produção ao valor econômico. Devem ser usados métodos alternativos, dependendo da combinação de culturas e dos objetivos para os quais os sistemas são implantados. Dessa forma, a avaliação de sistemas agroflorestais carece de uma abordagem específica que complemente ou substitua o modelo analítico, comumente utilizado na pesquisa agropecuária, uma vez que haveria necessidade de grandes áreas experimentais, implicando em um

custo operacional elevado, em problemas de variabilidade espacial de solos e em riscos de que pequenas parcelas fossem insuficientes para expressar os efeitos enquanto sistemas.

A geoestatística pode ser usada de forma eficiente para descrever e modelar padrões espaciais (variografia), prever valores em locais não amostrados (krigagem), obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância da krigagem) e otimizar malhas de amostragem (Remacre; Uzimaki, 1996; Jakob, 2002). Em estudos ecológicos, a geoestatística é utilizada na detecção e descrição da estrutura de dependência espacial, na otimização amostral (escala de estudo, tamanho e forma da unidade amostral), interpolação e construção de mapas e na estimação e inferência de variáveis relacionadas ao meio (Aubry; Debouzie, 2000; 2001).

O objetivo do presente estudo foi estruturar e avaliar um procedimento metodológico para caracterizar a dependência espacial de variáveis das espécies componentes de sistemas agroflorestais com o uso de ferramentas de geoestatística, permitindo a comparação de diferentes arranjos por meio de indicadores espaciais.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

Os sistemas agroflorestais foram implantados e conduzidos em áreas de produtores, localizadas no ramal Baixa Verde do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO, a 09° 51' 06,00" S e 66° 35' 52,41" W. Antes da implantação dos SAFs, as áreas eram cobertas com Floresta Primária e foram submetidas ao sistema de derruba e queima, prática tradicional para a época, na região.

Os SAFs atualmente possuem 28 anos de idade. As espécies perenes são compostas por cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.), pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) (para produção de sementes) e castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), sendo os cultivos temporários implantados nos anos iniciais dos sistemas (milho, arroz, mandioca e feijão).

No sistema agroflorestal 1 (SAF 1) observou-se o seguinte arranjo: cupuaçuzeiro (4 m x 7 m) x 14 m: 240 plantas/ha; castanheira (12 m x 21 m): 40 plantas/ha; pupunha para produção de sementes (2 plantas entre castanheiras, a cada 4 m): 80 plantas/ha (Figura 1). Após o cultivo das lavouras temporárias, plantou-se uma espécie leguminosa na entrelinha (puerária). Atualmente, em virtude do excesso de sombra, é possível que a ocorrência da puerária seja pequena na área.

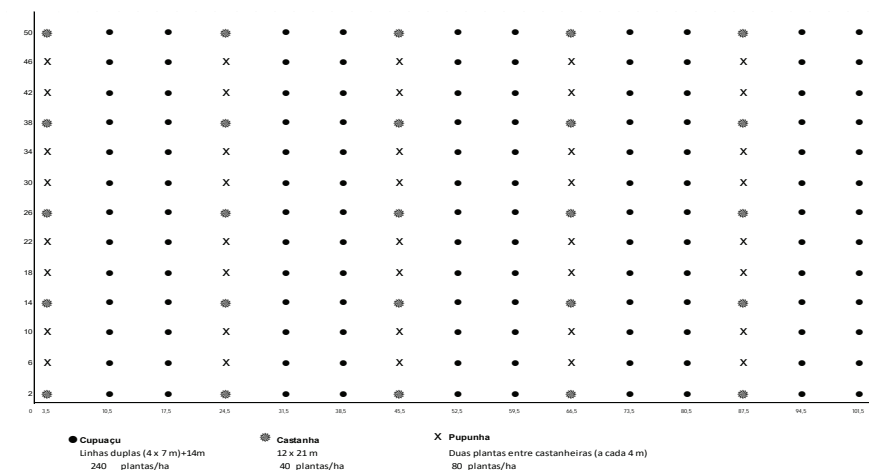


Figura 1. Arranjo espacial do sistema agroflorestal 1 (SAF 1) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

No sistema agroflorestal 2 (SAF 2) foram utilizados os mesmos componentes, porém com os seguintes espaçamentos e número de plantas por hectare: cupuaçuzeiro (4 m x 7 m): 287 plantas/ha; castanheira (12 m x 28 m): 32 plantas/ha; pupunha para produção de sementes (12 m x 14 m): 56 plantas/ha (Figura 2).

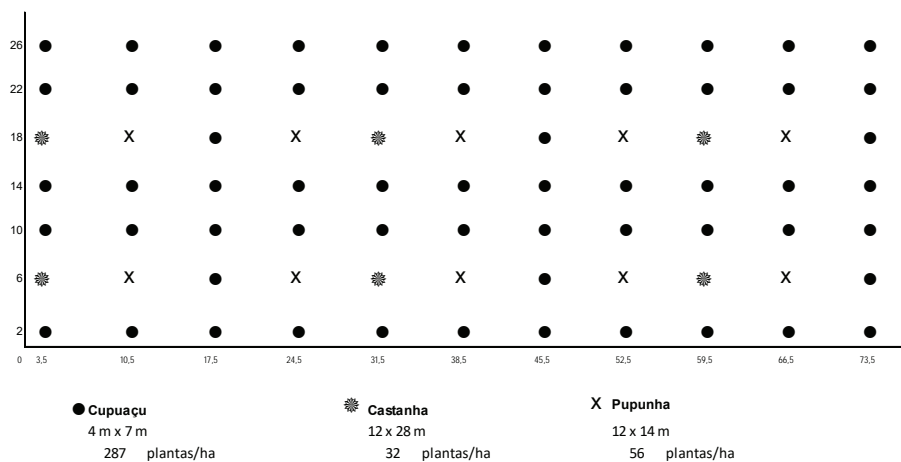


Figura 2. Arranjo espacial do sistema agroflorestal 2 (SAF 2) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

No sistema agroflorestal 3 (SAF 3), outro arranjo foi utilizado: cupuaçu-zeiro (4 m x 7 m): 311 plantas/ha; castanheira (12 m x 28 m): 32 plantas/ha; pupunha para produção de sementes (12 m x 28 m): 32 plantas/ha (Figura 3).

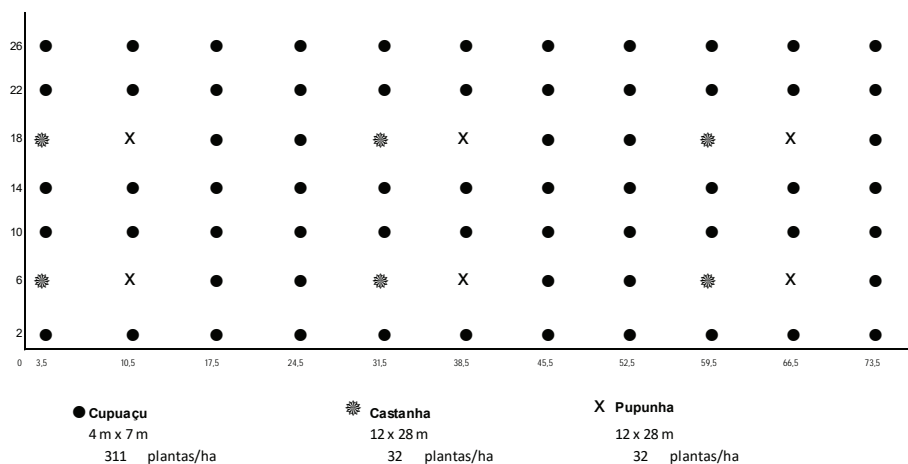


Figura 3. Arranjo espacial do sistema agroflorestal 3 (SAF 3) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

Coleta de dados a campo

Na realização dos levantamentos de campo, adotou-se uma modificação do método de amostragem de área fixa (Pellico Netto; Brena, 1993). Foi instalada em cada SAF uma única unidade amostral básica de 2.500 m² (50 m x 50 m), em função do tamanho médio das áreas cultivadas com sistemas agroflorestais na área de estudo (1 hectare), onde foram tomados pontos de GPS, medidos e identificados todos os indivíduos com circunferência à altura do peito (CAP) superior a 30 cm. As mensurações incluíram circunferência à altura do peito (coletada com trena diamétrica), altura total (h total), altura de inserção do fuste – h fuste (estimada a partir de régua com 4 metros de extensão), projeção da copa na linha (PCL) e projeção da copa na entrelinha (PCE), estimadas com o uso de trena na projeção da copa no solo.

Processamento dos dados a campo

Os dados do levantamento de campo foram processados utilizando-se uma planilha do Excel, ancorados nas coordenadas planas de cada indivíduo com os respectivos dados coletados primariamente e calculados o diâmetro à altura do peito (DAP), área de copa (ACO = 3,1416 x PCL x PCE) e dois índices:

- a) Razão altura total (h total) e diâmetro (RATD)

$$\text{RATD} = h \text{ total} / \text{DAP}$$

Onde: h total = altura total do indivíduo; DAP = diâmetro à altura do peito.

- b) Razão área de copa e altura total (h total)

$$\text{RAAT} = \text{ACO} / h \text{ total}$$

Onde: ACO = área de copa medida por meio da fórmula de área de uma elipse, considerando os dois eixos de projeção da copa: na linha e na entrelinha.

Os resultados das análises de cada sistema agroflorestal foram avaliados por meio de estatística descritiva calculando-se a média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose.

Análise da dependência espacial

A dependência espacial foi avaliada com base na análise de semivariogramas ajustados pelo ARC GIS 9.2 que foi desenvolvido pela Environmental Systems Research Institute (ESRI®) de Redlans, Califórnia (Esri, 2006).

O semivariograma foi estimado pela seguinte equação, descrita por Vieira (2000):

$$\gamma = 1/2N(h) \cdot [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Onde: $N(h)$ = número de pares experimentais de dados separados por uma distância h ; $Z(x_i)$ = valor determinado em cada ponto amostrado; $Z(x_i + h)$ = valor medido em um ponto mais a distância h .

Após o ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\gamma^*(h)$ foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, ou seja, o efeito pepita (C_0), o patamar, soleira (C), e o alcance de dependência espacial (a) (Couto et al., 2000).

Neste estudo foi calculada a razão da dependência espacial (GD), que é a proporção em percentagem da variância estrutural (C) em relação ao patamar ($C_0 + C$) (Journel, 1979).

$$GD = \frac{C}{C + C_0} \times 100$$

Onde: GD = índice de dependência espacial; C = valor da variância estrutural; e $C + C_0$ = patamar.

Os valores calculados para o GD foram agrupados segundo a classificação utilizada por Zimback (2001), que estabelece: $GD < 25\%$ – fraca dependência espacial; GD entre 25% e 75% – moderada dependência espacial; e

GD > 75% – forte dependência espacial. Para Journel (1979), quando o GD for menor que 0,2, a estatística e a geoestatística não se diferenciam.

Observada a existência de dependência espacial definida pelo variograma, os valores estimados foram utilizados para construção dos mapas de isolinhas, integradas com a distribuição das plantas na área de estudo.

Análise comparativa dos sistemas agroflorestais

Para comparar as variáveis da cobertura vegetal dos sistemas foram consideradas aquelas que tinham de moderada a alta dependência espacial. De posse dos mapas de isolinhas foi estabelecida uma grade amostral de nove parcelas de 10 m x 10 m para extração dos dados espaciais de cada atributo considerado. O delineamento experimental foi de blocos casualizados e os sistemas foram comparados entre si pelo teste de Scheffe a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

A estatística básica fornece informações preliminares sobre a variabilidade dos atributos da cobertura vegetal dos sistemas agroflorestais. As áreas de manejo semelhante e implantadas no mesmo período apresentaram variabilidade dentro e entre os sistemas.

Apesar dos valores de média e mediana para todas as variáveis estarem próximos, mostrando uma tendência de distribuições simétricas, ocorrem atributos de alta variabilidade como altura total e área de copa, em função do arranjo espacial das espécies (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva para atributos em três sistemas agroflorestais do projeto Reça, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

Atributo	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Sistema agroflorestal 1 (SAF 1)					
Altura total (m)	5,68	5,00	1,00	16,50	2,65
Altura de inserção do fuste (m)	3,70	3,50	0,40	14,00	2,71
DAP (cm)	14,60	12,89	1,59	60,48	8,05
Projeção da copa na linha (m)	4,90	4,65	1,00	30,00	2,18
Projeção da copa na entrelinha (m)	4,93	4,80	1,00	18,00	1,89
Área de copa (m ²)	85,00	69,37	3,14	703,72	77,84
Altura total/DAP	0,45	0,46	0,06	2,52	0,22
Área de copa/altura total	15,16	12,89	0,63	109,33	10,04
Sistema agroflorestal 2 (SAF 2)					
Altura total (m)	6,82	5,00	1,80	56,00	5,41
Altura de inserção do fuste (m)	3,99	2,00	0,50	12,00	3,42
DAP (cm)	18,45	16,23	5,41	16,60	10,86
Projeção da copa na linha (m)	5,53	5,00	2,00	16,40	2,45
Projeção da copa na entrelinha (m)	5,42	5,00	2,00	16,00	2,39
Área de copa (m ²)	111,42	78,54	12,57	834,41	125,19
Altura total/DAP	0,41	0,31	0,10	3,32	0,32
Área de copa/altura total	16,13	13,31	1,70	69,53	9,41
Sistema agroflorestal 3 (SAF 3)					
Altura total (m)	6,47	6,00	2,30	14,50	3,42
Altura de inserção do fuste (m)	4,36	3,40	0,79	12,00	2,95
DAP (cm)	18,49	15,92	12,10	74,17	9,35
Projeção da copa na linha (m)	6,35	6,00	0,00	16,40	2,20
Projeção da copa na entrelinha (m)	6,20	5,80	0,00	18,60	2,30
Área de copa (m ²)	136,93	108,83	0,00	929,10	123,58
Altura total/DAP	0,38	0,28	0,09	0,84	0,21
Área de copa/altura total	22,59	20,93	0,00	71,47	10,48

A grande amplitude em variáveis como o DAP e altura de inserção do fuste indica os problemas de variação que podem estar associados quando se usa somente média simples dos valores dos atributos para definir estratégias de manejo ou comparar a efetividade de sistemas agroflorestais complexos e de idade avançada. Como não se está trabalhando com unidades territoriais homogêneas e somente com variáveis da cobertura vegetal, há necessidade de maiores detalhes e estudos posteriores que incluam a variabilidade do solo local e permitam vislumbrar as relações espaciais locais, conforme sugerem Bayley (1976) e Resende et al. (2002).

Todas as variáveis analisadas no sistema agroflorestal 1 apresentaram dependência espacial. Esse resultado evidencia a importância das variáveis estudadas na caracterização dos sistemas e na possibilidade de comparação de sistemas agroflorestais diversos, uma vez que todas as variáveis estão em uma mesma base espacial e os modelos tratam o sistema como uma superfície contínua. Dessa forma, a forte dependência espacial da maioria das variáveis contribui para a caracterização espacial na área estudada, uma vez que os semivariogramas explicam a maior parte da variância dos dados experimentais (Tabela 2).

Tabela 2. Parâmetros estimados com modelos esféricos para os semivariogramas experimentais de atributos do sistema agroflorestal 1 (SAF 1) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

Variável	C ₀	a	C	C+C ₀	GD	
					%	Classe
Altura de inserção do fuste (m)	0,00	4,2	9,0	9,0	100,0	Forte dependência espacial
DAP (cm)	75,9	3,8	14,1	90,0	15,7	Fraca dependência espacial
Área de copa (m ²)	5.132,9	5,2	2.084,7	7.217,6	28,9	Moderada dependência espacial
Altura total (m)	1,6	4,4	7,7	9,4	82,4	Forte dependência espacial
Altura total/DAP	0,0	4,7	0,1	0,1	100,0	Forte dependência espacial
Área de copa/altura total	95,7	85,5	33,0	128,8	25,6	Moderada dependência espacial

C₀ = efeito pepita. a = alcance. C = soleira. C+C₀ = patamar. GD = dependência espacial.

O valor do efeito pepita permite avaliar a descontinuidade dos dados para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras, sendo o valor da semivariância para a distância zero, representando o componente da variabilidade espacial que não pode ser relacionado com uma causa específica. Nesse caso o efeito pepita foi maior para o atributo área de copa, demonstrando que apesar da moderada dependência espacial, há um menor grau de dependência dessa variável em relação aos outros atributos em análise, em função do arranjo espacial das espécies e da estrutura de copa de componentes dominantes como a castanheira.

Os valores de alcance variaram de 3,8 m a 85,5 m, o maior valor para a área de copa/altura. O raio de influência de uma amostra é avaliado pelo seu alcance que sendo pequeno demanda um maior número de amostras para representar uma média confiável da área. Nesse caso todos os atributos apresentaram correlação espacial em distâncias menores que 10 metros (Tabela 2), o que pode ser um indicativo do tamanho adequado para um dos lados da parcela experimental de avaliação. Ressalta-se a importância do alcance da variável área de copa/altura (85,5 m) que é maior do que o lado da área amostral, demonstrando nesse caso a necessidade de um maior polígono amostral para caracterizar toda a sua variabilidade espacial, ou um maior número de polígonos amostrais (Tabela 2).

As variáveis área de copa e altura total tiveram fraca dependência espacial (Tabela 3), provavelmente, em razão do arranjo de espécies nessa área de estudo (SAF 2). Em função da moderada a forte dependência espacial da maioria das variáveis ressalta-se a importância dos semivariogramas que explicam a maior parte da variância dos dados experimentais.

Tabela 3. Parâmetros estimados com modelos esféricos para os semivariogramas experimentais dos atributos do sistema agroflorestal 2 (SAF 2) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

Variável	C ₀	a	C	C+C ₀	GD	
					%	Classe
Altura de inserção do fuste (m)	5,7	6,2	3,0	8,7	34,3	Moderada dependência espacial
DAP (cm)	63,7	86,7	41,6	105,3	39,5	Moderada dependência espacial
Área de copa (m ²)	7.007,4	31,1	1.349,2	8.356,6	16,2	Fraca dependência espacial
Altura total (m)	8,0	7,5	1,4	9,3	14,8	Fraca dependência espacial
Altura total/DAP	0,0	4,5	0,2	0,2	100,0	Forte dependência espacial
Área de copa/altura total	47,1	86,7	37,3	84,3	44,2	Moderada dependência espacial

C₀ = efeito pepita. a = alcance. C = soleira. C+C₀ = patamar. GD = dependência espacial.

O valor do efeito pepita, no sistema agroflorestal 2, permite avaliar a descontinuidade dos dados para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. No SAF 2 o efeito pepita foi maior para o atributo área de copa, demonstrando que apesar da fraca dependência espacial, há um menor grau dessa variável quando comparada com os outros atributos no sistema agroflorestal.

Apenas as variáveis altura total/DAP e altura de inserção do fuste/CAP tiveram fraca dependência espacial (Tabela 4) no sistema agroflorestal 3. Todas as outras variáveis tiveram moderada dependência espacial e com os semivariogramas explicando a variância dos dados experimentais.

Tabela 4. Parâmetros estimados com modelos esféricos para os semivariogramas experimentais dos atributos do sistema agroflorestal 3 (SAF 3) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

Variável	C ₀	a	C	C+C ₀	GD	
					%	Classe
Altura de inserção do fuste (m)	4,0	5,0	4,6	8,6	54,0	Moderada dependência espacial
DAP (cm)	100,3	55,0	39,6	139,9	28,3	Moderada dependência espacial
Área de copa (m ²)	11.228,3	9,7	13.698,7	24.927,0	55,0	Moderada dependência espacial
Altura total (m)	7,5	6,4	6,5	14,0	46,5	Moderada dependência espacial
Altura total/DAP	0,0	76,0	0,00	0,0	0,0	Fraca dependência espacial
Área de copa/altura total	93,2	11,2	56,7	149,9	37,8	Moderada dependência espacial

C₀ = efeito pepita. a = alcance. C = soleira. C+C₀ = patamar. GD = dependência espacial.

Os valores de alcance variaram de 4,99 m a 76,05 m, sendo o menor valor para a altura de inserção do fuste e o maior valor para a altura total/DAP e para altura de inserção do fuste/CAP.

As estimativas da krigagem, que são baseadas nos valores médios encontrados no terreno (Isaaks; Srivastava, 1989), permitem vislumbrar os teores e as variações apresentadas na área de estudo. A dependência espacial (Yost et al., 1982) é clara para todas as variáveis.

Na Figura 4 são apresentadas as superfícies interpoladas do sistema agroflorestal 1 (SAF 1) a partir do ajuste dos modelos e considerando os semivariogramas para as variáveis coletadas a campo e aquelas integradas de forma a se obter o comportamento espacial de cada variável no sistema agroflorestal em uma superfície contínua.

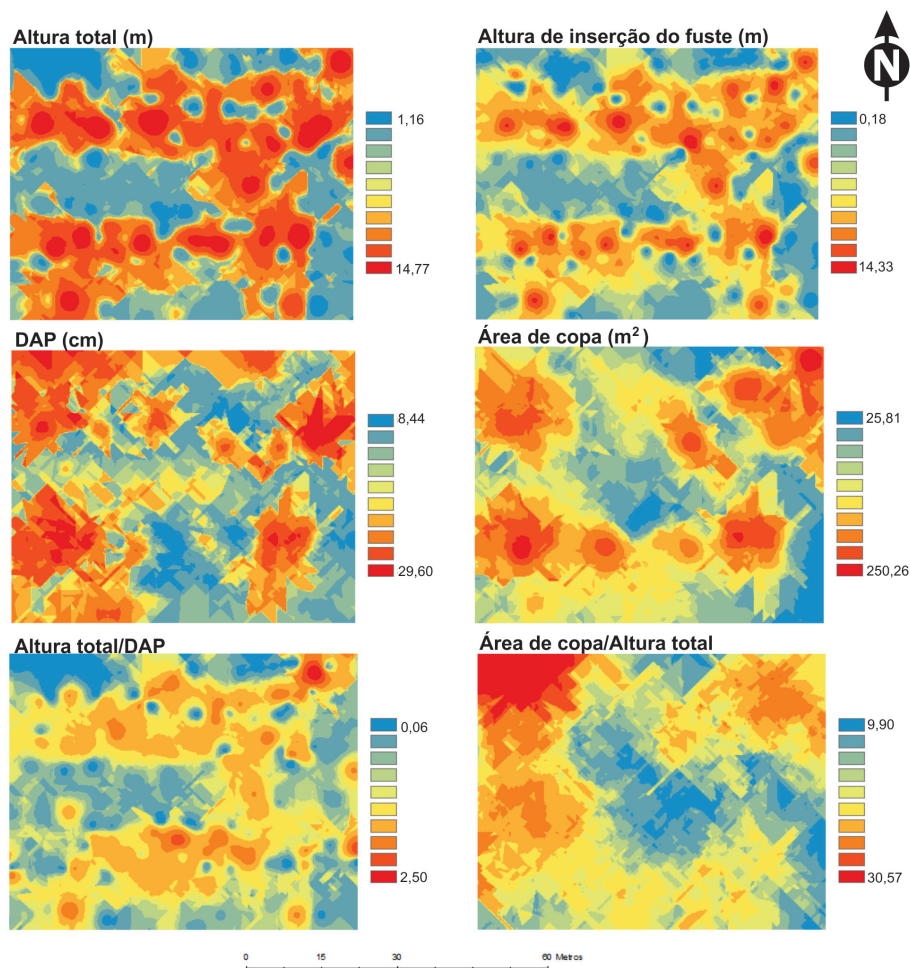


Figura 4. Distribuição espacial por krigagem das variáveis altura total (m), altura de inserção do fuste (m), DAP (cm), área de copa (m²), altura total/DAP e área de copa/altura total do sistema agroflorestal 1 (SAF 1) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

Há uma similaridade no padrão de distribuição da altura total e da altura de inserção do fuste, em que se observa uma maior altura no setor norte da área estudada, em função da maior concentração de árvores de castanheira. A partir da modelagem é possível evidenciar a maior expressão da altura nas linhas de plantio no sentido leste-oeste e as variações de altura nas entrelinhas em função do espaçamento entre as espécies.

A área de copa tem um comportamento peculiar e permite vislumbrar a eficiência da cobertura do solo pelo sistema agroflorestal. O sistema tem maior área de copa nos setores nordeste e noroeste e uma linha de leste a oeste no setor sul, em função do arranjo das espécies e da expressão de árvores da castanheira.

As variáveis integradoras altura total/DAP e área de copa/altura têm comportamento diferenciado. A altura total/DAP permite visualizar a relação entre o crescimento vertical e horizontal, uma vez que relações mais equitativas refletirão árvores maiores e com boa ocupação horizontal de diâmetro de fuste, permitindo uma melhor ocupação do estrato aéreo. A relação entre área de copa/altura permite avaliar o grau de efetividade do sistema no que se refere a crescimento e ocupação da paisagem. No sistema agroflorestal 1, a interpolação mostra uma melhor ocupação no setor noroeste e em todo o setor norte em função da concentração dos remanescentes de árvores de castanheira. As variações em intervalos pequenos são evidentes e podem contribuir consideravelmente para o manejo do sistema, bem como para a estratégia de gestão mais eficiente.

Na Figura 5 são apresentadas as superfícies interpoladas do sistema agroflorestal 2 (SAF 2) considerando os semivariogramas para as variáveis coletadas a campo. A variabilidade nesse sistema agroflorestal é mais suave para todas as variáveis analisadas.

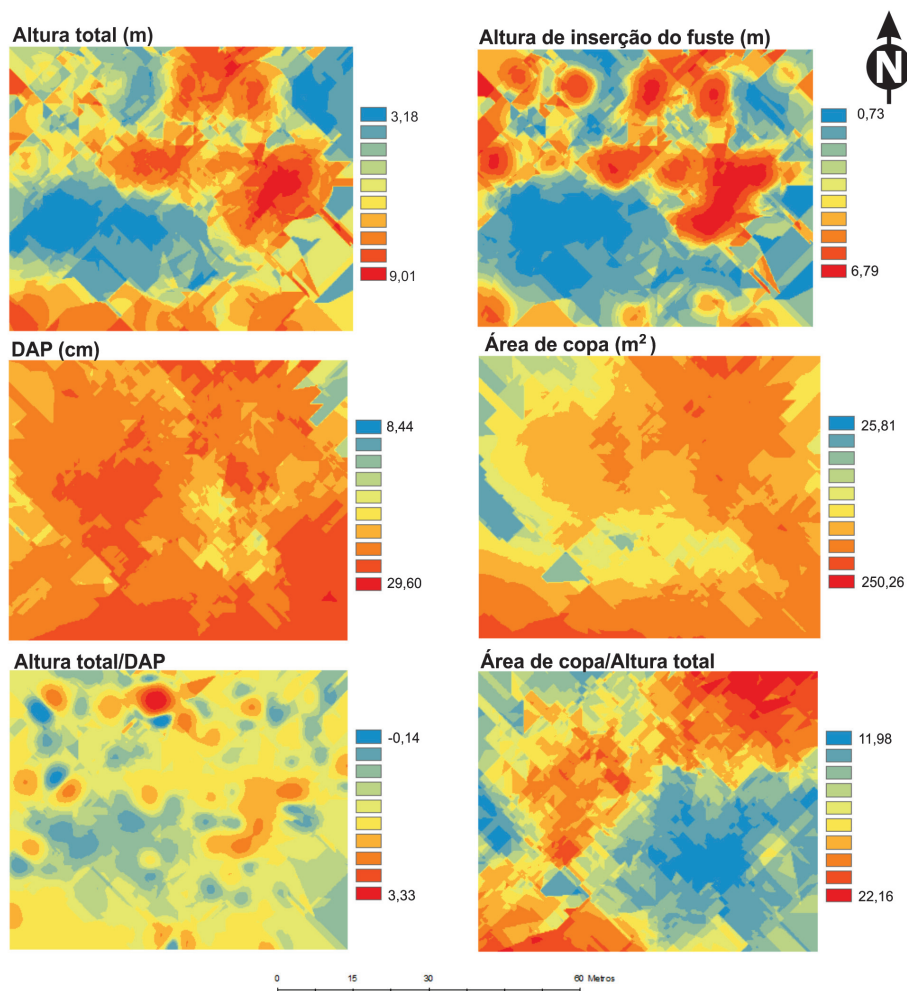


Figura 5. Distribuição espacial por krigagem das variáveis altura total (m), altura de inserção do fuste (m), DAP (cm), área de copa (m²), altura total/DAP e área de copa/altura total do sistema agroflorestal 2 (SAF 2) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

A altura total se expressa nas linhas de plantio com a visão do efeito individual das plantas, onde se observam maiores alturas na linha superior (setor norte) e na linha central, em função da concentração de árvores de castanheira. O DAP tem maior expressão no setor oeste e tem menor amplitude de variabilidade em toda a área.

Na área de copa no sistema agroflorestal 2 ocorreu uma maior cobertura do solo do que no sistema agroflorestal 1, apresentando maiores valores na maior parte da área e uma baixa cobertura no extremo noroeste. Esse comportamento foi condicionado pela supressão do componente pupunha (restam alguns remanescentes na área) e inserção de outras espécies como o mogno (*Swietenia macrophylla*), garapeira (*Apuleia leicocarpa*) e faveira (*Schizolobium amazonicum*).

A altura total/DAP permitiu individualizar o efeito principal de algumas árvores que se distribuem na área de estudo. A relação entre área de copa/altura total demonstra a efetividade da ocupação da paisagem em uma faixa que se estende de sudoeste a nordeste, em função da distribuição das espécies arbóreas.

Na Figura 6 podem-se visualizar as superfícies interpoladas do sistema agroflorestal 3 (SAF 3) considerando os semivariogramas para as variáveis definidas anteriormente. A variabilidade nesse sistema agroflorestal é marcante e permite distinguir zonas de maior ocupação da paisagem.

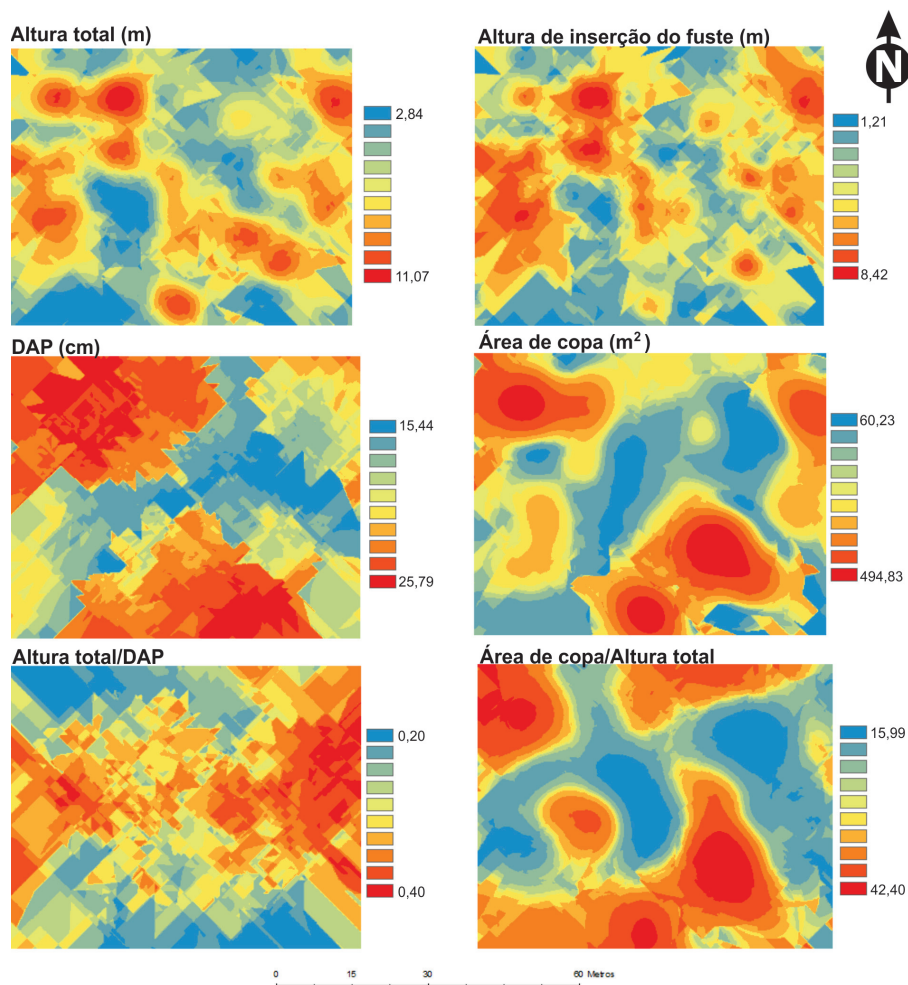


Figura 6. Distribuição espacial por krigagem das variáveis altura total (m), altura de inserção do fuste (m), DAP (cm), área de copa (m^2), altura total/DAP e área de copa/altura total do sistema agroflorestal 3 (SAF 3) do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

A altura total e altura de inserção do fuste têm um padrão disperso na área com concentrações pontuais. O CAP e o DAP têm comportamento similar com maior concentração no setor noroeste e extremo sul.

A área de copa no sistema agroflorestal 3 demonstra uma menor efetividade de cobertura do solo do que no sistema agroflorestal 2, com uma distribuição de maiores valores em três zonas da área de estudo (noroeste, leste e sul).

A altura de fuste/CAP e altura total/DAP demonstram uma maior efetividade na região central da área de estudo variando de leste a oeste. A relação entre área de copa/altura demonstra a efetividade da ocupação da paisagem com maior concentração ao norte e ao sul com zonas de depressão no centro. Nesse sistema foram encontradas quatro espécies adicionais: copaíba (*Copaifera langsdorffii*), jatobá (*Hymenaea courbaril*), maracatiara (*Astronium lecointei*) e rambutã (*Nephelium lappaceum*).

Ao realizar a comparação entre os sistemas agroflorestais verifica-se que não há diferença estatística entre eles. A altura total média variou de 5,18 m a 6,02 m com o SAF 3 apresentando maior valor e o SAF 2 menor valor, porém essa diferença não foi significativa pelo teste de Scheffe a 5% de probabilidade (Tabela 5).

Tabela 5. Comparação de variáveis de três sistemas agroflorestais do projeto Reca, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.

Sistema	Variável		Teste de Scheffe a 5% de probabilidade
	Altura total (m)	Desvio padrão (m)	
SAF 1	5,70	0,67	A
SAF 2	5,18	0,88	A
SAF 3	6,02	1,87	A
Altura de inserção do fuste (m)		Desvio padrão (m)	
SAF 1	3,40	0,61	
SAF 2	3,18	0,88	A
SAF 3	2,95	0,72	A
DAP (cm)		Desvio padrão (m)	
SAF 1	20,05	1,89	
SAF 2	16,10	1,71	B
SAF 3	18,67	0,87	A
Área de copa (m ²)		Desvio padrão (m ²)	
SAF 1	145,82	56,55	
SAF 2	78,92	14,08	B
SAF 3	98,22	13,87	B
Altura total/DAP		Desvio padrão	
SAF 1	0,29	0,03	
SAF 2	0,38	0,08	A
SAF 3	0,36	0,10	AB
Área de copa/altura total		Desvio padrão	
SAF 1	25,56	3,60	
SAF 2	16,15	3,93	B
SAF 3	16,14	1,76	B

Não há diferença estatística entre a altura de inserção do fuste, que variou de 2,95 m (SAF 3) a 3,40 m (SAF 1), porém essa diferença não é significativa pelo teste de Scheffe a nível de 5% de probabilidade.

A circunferência à altura do peito (CAP) variou de 50,59 cm a 62,99 cm, com o SAF 1 sendo igual estatisticamente ao SAF 3 pelo teste de Scheffe a 5% de probabilidade. Para o SAF 2 o valor da CAP foi de 50,59 cm que é inferior estatisticamente aos outros dois sistemas agroflorestais, indicando uma menor ocupação horizontal.

O diâmetro à altura do peito (DAP) variou de 16,10 cm a 20,05 cm, com o SAF 1 sendo igual estatisticamente ao SAF 3 pelo teste de Scheffe a 5% de probabilidade. Para o SAF 2 o valor do DAP foi de 16,10 cm que é inferior estatisticamente aos outros dois sistemas agroflorestais, indicando uma menor ocupação horizontal.

A área de copa variou de 78,92 m² a 145,82 m², com o SAF 2 sendo igual estatisticamente ao SAF 3 pelo teste de Scheffe a 5% de probabilidade. Para o SAF 1 o valor da área de copa foi de 145,82 m² que é maior estatisticamente em relação aos outros dois sistemas agroflorestais, indicando uma melhor ocupação do espaço aéreo.

A relação altura do fuste/CAP variou de 0,05 a 0,10, não havendo diferença estatística entre os sistemas agroflorestais, indicando uma relação vertical/horizontal similar.

A relação altura total/DAP variou de 0,29 m² a 0,38 m², apresentando o SAF 2 o melhor resultado pelo teste de Scheffe a nível de 5% de probabilidade; estatisticamente o SAF 1 obteve o menor valor e o SAF 3 ficou igual ao SAF 2 e ao SAF 1, indicando sensibilidade dessa variável em estratificar sistemas agroflorestais.

A relação área de copa/altura total variou de 16,14 a 25,56. O melhor resultado foi apresentado pelo SAF 1 no qual a área de copa/altura total foi maior estatisticamente que o SAF 2 e SAF 3, demonstrando uma maior efetividade de ocupação do espaço do SAF 1, uma vez que quanto maior a relação da razão entre variáveis A/B maior a ocupação do espaço aéreo do sistema agroflorestal.

Conclusões

As análises conduzidas neste trabalho permitiram inferir que os sistemas agroflorestais são espacialmente dependentes.

- a) As técnicas de geoestatística empregadas permitem extrair informações dos dados, nem sempre facilmente observáveis, além de obter medidas quantitativas confiáveis e adequadas para caracterização e comparação de sistemas agroflorestais.
- b) O DAP, área de copa e a relação área de copa/altura total se mostraram mais adequados para comparação dos sistemas agroflorestais pela sensibilidade de separação dos grupos.
- c) Essas informações podem ser utilizadas como contribuição a uma estratificação de sistemas agroflorestais, tais como: conhecer o padrão da distribuição espacial vertical e horizontal do conjunto de espécies na mesma área (arranjo), microzonas de áreas com baixa efetividade de ocupação e comparação de sistemas agroflorestais complexos.
- d) Os índices calculados também podem ser utilizados como parâmetros comparativos entre sistemas agroflorestais.

Referências

- ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.
- AMARAL, E. F. do. **Estratificação de ambientes para gestão ambiental e transferência de conhecimento, no estado do Acre, Amazônia Ocidental**. Viçosa, MG, 2007. 185 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- AUBRY, P.; DEBOUZIE, D. Geostatistical estimation variance for the spatial mean in two-dimensional systematic sampling. **Ecology**, Washington, DC, v. 81, n. 2, p. 543-553, Feb. 2000.
- AUBRY, P.; DEBOUZIE, D. Estimation of the mean from a two-dimensional sample: the geostatistical model-based approach. **Ecology**, Washington, DC, v. 82, n. 5, p. 1484-1494, May 2001.
- BAILEY, R. G. **Description of the ecoregions of United States**. Washington, DC: Printing Office, 1976. 77 p.

CARVALHO, H. M. **Padrões de sustentabilidade**: uma medida para o desenvolvimento sustentável. Curitiba, 1993. 26 p. Mimeo.

COELHO, L. M.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; COIMBRA, L. A. B.; SOUZA, A. N. Agroforest system investment analysis under risk. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 368-378, 2008.

COUTO, E. G.; KLAMT, E.; STEIN, A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do estado do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 129-139, mar. 2000.

DUBOIS, J. C. L.; VIANA, V. M.; ANDERSON, A. B. Sistemas e práticas agroflorestais para a Amazônia. **Manual agroflorestal para a Amazônia**. Rio de Janeiro: REBRAF, 1996. v. 1, p. 2-27.

ESRI. **ArcGis 9.2** [Software]. Redland, California, 2006.

FREITAS, J. L. **Sistemas agroflorestais e sua utilização como instrumento de uso da terra**: o caso dos pequenos agricultores da ilha de Santana, Amapá, Brasil. 2008. 247 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.

GAMA, M. M. B. **Análise técnica e econômica de sistemas agroflorestais em Machadinho D'Oeste, Rondônia**. 2003. 112 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. p. 475-507.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An introduction to applied geostatistics**. New York: Oxford University, 1989. 561 p.

JAKOB, A. A. E. A krigagem como método de análise de dados demográficos. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13., 2002, Ouro Preto. **Anais....** Ouro Preto: Abep, 2002.

JOURNEL, A. J. Geoestatistical simulation: methods for exploration and mine planning. **Engineering and Mining Journal**, Denver, v. 180, n. 12, p. 86-91, 1979.

MCGRATH, D. A.; COMERFORD, N. B.; DURYEA, M. L. Litter dynamics and monthly fluctuations in soil phosphorus availability in an Amazonian agroforest. **Forest Ecology and Management**, United Kingdom, v. 131, n. 1-3, p. 167-181, June 2000.

MORGADO, L. B.; RAO, M. R. **Conceitos e métodos experimentais em pesquisa com consorciação de culturas**. Petrolina: EMBRAPA - CPATSA, 1986. 79 p. (EMBRAPA-CPATSA. Documentos, 43).

- PELLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. Metodologia para determinação de intensidade amostral em inventários florestais contínuos com dupla amostragem. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7.; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBS: SBEF, 1993. v. 2, p. 525-527.
- REMACRE, A. Z.; UZUMAKI, E. T. Variogramas para interpolação em geofísica. **Geociências**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 17-39, jan./jun. 1996.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 338 p.
- RODRIGUES, A. C. G. Ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais na região tropical: funcionalidade e sustentabilidade. In: MULLER, M. W.; RODRIGUES, A. C. G.; BRANDÃO, I. C. F. L.; SERÓDIO, M. H. C. F. (Ed.). **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos**: sustento da vida e sustento de vida. Ilhéus: Ceplac, 2004. p. 67-88.
- SILVA, D. C. da; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S. de; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, jan./jun. 2011.
- SMITH, N.; DUBOIS, J.; CURRENT, D.; CLEMENT, C. **Experiências agroflorestais na Amazônia brasileira**: restrições e oportunidades. Brasília, DF: Banco Mundial, 1998. 120 p.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; SCHAEFFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: SBCE, 2000. v. 1, p. 1-54.
- YOST, R.; RAHMAN, S.; VANCE, G. F.; MUNN, L. C. Geostatistical analysis of soil chemical properties of large land areas. II. Kriging. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 46, n. 5, p. 1033-1037, Sept./Oct. 1982.
- YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Nairobi: CAB International, 1989. 318 p.
- ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento de fertilidade**. 2001. 114 f. Tese (Livro-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.



Apoio

